

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ УПОРЯДОЧЕННОЙ ФАЗЫ Ti_3Al В ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ ВТ6

Манохин С.С.

Руководитель – к.ф.-м.н. Иванов М.Б.

Белгородский государственный университет, НОЦ «Наноструктурные материалы и нанотехнологии», г. Белгород, Россия
manohin@bsu.edu.ru

Эффективным методом управления структурно-фазовым составом $\alpha + \beta$ титановых сплавов является обратимое легирование водородом (ОЛВ) [1]. Растворяясь в основном в β -фазе, водород повышает способность к пластической деформации материала. Этот эффект позволяет улучшить технологичность обработки жаропрочных титановых сплавов [2]. Ранее нами было установлено [3], что в результате термоводородной/водородопластической обработок в сплаве ВТ6 возможно формирование упорядоченной α_2 -фазы (Ti_3Al). Показано, что варьируя параметры водородопластической обработки (степень деформации, температуру отжига), можно реализовать контролируемое получение несколько типов микроструктур с различной (в интервале 9...18 масс. %) объемной долей α_2 -фазы. Состояния сплава ВТ6, с α - и α_2 -фазой пластинчатой морфологии обладают большим сопротивлением пластической деформацией при температурах до 873 К по сравнению со сплавом характеризующимся бимодальной структурой.

Целью данной работы являлось показать методами высокоразрешающей аналитической просвечивающей электронной микроскопии особенности микроструктуры α_2 -фазы в титановом сплаве ВТ6 после водородопластической обработки.

В работе использовали титановый сплав марки ВТ6. Химический состав, % (масс.): 6,8 Al; 5,2 V; прочие 1,3, остальное Ti. В данной работе рассмотрено состояние после тепловой пластической деформации на степень до 50 % и отжигом (в наводороженном состоянии) в интервале температур 773...1023 К. Конечным этапом обработки всегда являлся вакуумный отжиг, для удаления водорода до безопасных концентраций (0,002 масс. %). В отличие от образцов после пластической деформации прокаткой на степень 0...20 %, в образцах после деформации на степень порядка 50 % обнаруживаются глобулярные кристаллиты (рис. А, Б).

Электронно-микроскопические исследования подтверждают данные рентгеноструктурного анализа о наличии в структуре упорядоченной α_2 -фазы. Темное поле, получено в «экстра» и матричном рефлексах (рис. Г, Д). Размер доменной структуры, с антифазными границами, в

упорядоченной α_2 -фазе порядка 10 нм. Известен факт, что повышение дисперсности доменной структуры с антифазными границами, приводит к повышению жаропрочных свойств сплавов. Например, предел текучести структуры с доменами Ti_3Al порядка нескольких микрон, может быть повышен в пять раз при уменьшении среднего размера домена с антифазными границами до сотни нанометров при контроле морфологии [4]. Методом высокоразрешающей просвечивающей микроскопии в оси зоны $[0001]_{\alpha_2}, [10-10]_{\alpha_2}, [21-31]_{\alpha_2}, [02-21]_{\alpha_2}$ получены изображения атомной решетки. Методами прямого и обратного Фурье-преобразования, выявлены характерные межплоскостные расстояния и положения атомов для упорядоченной α_2 ГПУ структуры с типом симметрии $D0_{19}$. Например, на рис. Е, приведено изображение прямого разрешения решетки в оси зоны $[0001]_{\alpha_2}$, а также схемы упаковки атомов с антифазной границей домена в решетке Ti_3Al (рис. Ж).

Методом энергодисперсионного рентгеноспектрального анализа построены карты распределения элементов в микроструктуре сплава (рис. Д), а также определены концентрации атомов в α -матрице сплава и в областях с α_2 -фазой. Обнаружено, что объемная доля атомов Al в упорядоченной α_2 -фазе соответствует стехиометрическому составу.

Кроме этого, определены изменения в электронной структуре α_2 -фазы из спектров характеристических потерь энергии электронов в тонкой фольге одинаковой толщины в различных осях зон. Плотность заполненных состояний электронов в упорядоченной α_2 -фазе и α -матрице ГПУ титана была оценена из измерения интенсивности белых линий (края поглощений в результате перехода $p \rightarrow d$). На рис. 2 приведены края поглощения титана Ti_{L2} и Ti_{L3} в оси зоны $[21-31]$. На данном рисунке Ti_{L2} и Ti_{L3} обозначены белые линии, соответствующие переходам из $2p_{1/2}$ и $3p_{3/2}$ в $3d$. Наблюдаются изменения высоты L-краев поглощения вследствие атомного упорядочения. Так высота $Ti_{L2,3}$ краев поглощения α_2 -фазы ниже, чем α -фазы без упорядочения. Связано это с тем, что плотность незаполненных состояний титана в результате упорядочения снижается, а плотность незаполненных состояний алюминия возрастает [5]. Кроме этого, наблюдается смещение края поглощений $Ti_{L2,3}$ α_2 -фазы в сторону меньших энергий, что может быть вызвано химическим смещением, описанным в работах [5, 6].

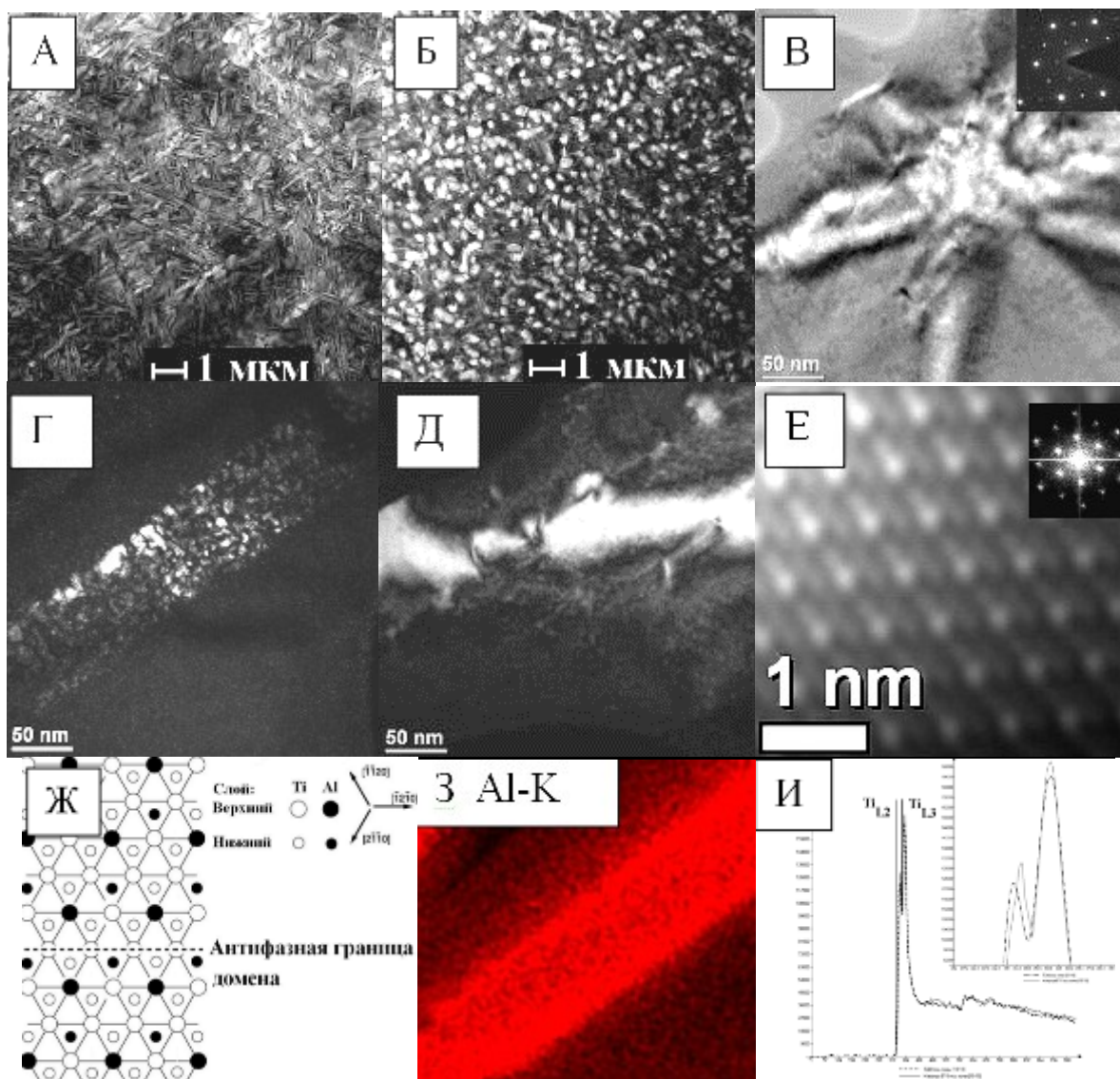


Рисунок. Изображения микроструктуры титанового сплава ВТ6 после водородопластической обработки: А, Б – просвечивающая электронная микроскопия в режиме сканирования (STEM) образцов состояний без и с пластической деформацией прокаткой на степень 50 %; В, Г, Д – светлое (с микродифракцией) и темное поля (в $(-1010)_{\alpha_2}$ и $(-1010)_{\alpha}$ рефлексах, с площади $0,03 \text{ мкм}^2$); Е – высокоразрешающая просвечивающая электронная микроскопия с Фурье-преобразованием; Ж – схема упаковки атомов с антифазной границей домена в Ti_3Al с типом структуры решетки D0_{19} в оси зоны $[0001]_{\alpha_2}$; З – картирование по Al; И – спектр характеристических потерь энергии электронов с α_2 - и α -фазы

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке в рамках государственных контрактов №02.523.11.3007, №02.740.11.0137 и П329.

Используемые литературные источники:

1. Ильин А.А. Механизм и кинетика фазовых и структурных превращений в титановых сплавах. – М.: Наука, 1994. – 304 с.
2. V. K. Nosov, A. V. Ovchinnikov and Yu. Yu. Shchugorev, Applications of hydrogen plasticizing of titanium alloys // Metal Science and Heat Treatment 50 (2008) 378.
3. M. B. Ivanov, S. S. Manokhin, Yu. R. Kolobov, D. A. Nechayenko Phase composition and microstructure of Ti-6Al-4V alloy after hydrogen-plastic working// Materials physics and mechanics, №4, 2010 (в печати).
4. Y. Koizumi et.al. Effect of Al concentration on growth of antiphase domains in Ti_3Al //Materials research sociality symposium, Vol.705, 2002, pp. Y7.10.1-Y7.10-5.
5. Zhong, X. Y. Zhu, Jing Zhang, A. H. Mou, S. C. Investigation of electronic structures of ordered and disordered Ni_3Fe by electron energy loss spectroscopy//Applied Physics Letters, 89, 2009, pp. 151912-1 - 151912-3.
6. K. Lie and R. Holmestad Experimental and theoretical investigations of EELS near-edge fine structure in TiAl with and without ternary addition of V, Cr, or Mn// Physical review B, 57, 1998, pp. 1585-1593.